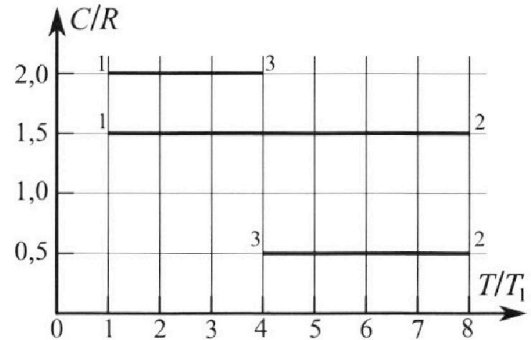


Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

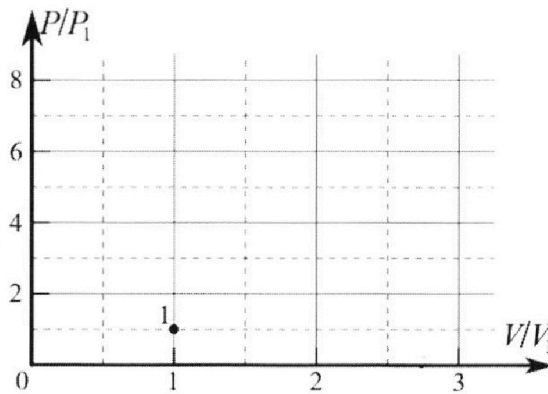
Вариант 10-02

Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби и радикалы.

4. Тепловой двигатель работает по циклу 1-2-3-1. Рабочее вещество – один моль одноатомного идеального газа. Для вычисления КПД цикла ученик десятого класса построил график зависимости молярной теплоемкости C газа (в единицах универсальной газовой постоянной) от температуры в процессах: 1-2, 2-3, 3-1 (см. рис.). Температура газа в состоянии 1 равна $T_1 = 200$ К, универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль·К).

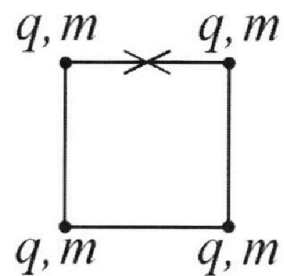


- 1) Найдите работу A_{31} внешних сил над газом в процессе 3-1.
- 2) Найдите КПД η цикла.
- 3) Постройте график цикла в координатах $(P/P_1, V/V_1)$, где P_1 и V_1 давление и объём в состоянии 1. Для построения графика перенесите шаблон (см. ниже) в чистовик своей работы. Точка 1 на графике соответствует состоянию 1 газа в цикле.



5. Четыре заряженных шарика связаны легкими нерастяжимыми нитями так, что шарики находятся в вершинах квадрата со стороной a (см. рис.). Сила натяжения каждой нити T .

- 1) Найдите абсолютную величину $|q|$ заряда каждого шарика. Одну нить пережигают.
- 2) Найдите кинетическую энергию K любого, выбранного Вами шарика, в тот момент, когда шарики будут находиться на одной прямой.
- 3) На каком расстоянии d от точки старта будет находиться в этот момент любой из двух шариков, изначально расположенных сверху (на рисунке)? Электрическая постоянная ϵ_0 . Действие сил тяжести считайте пренебрежимо малым.





Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 10-02

Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби и радикалы.



1. Футболист наносит удар по мячу, лежащему на горизонтальной площадке. Вектор начальной скорости мяча образует угол $\alpha = 45^\circ$ с горизонтальной плоскостью. Горизонтальное перемещение мяча за время полета $L = 20$ м.

1) Найдите начальную скорость V_0 мяча.

Если футболист направляет мяч под различными углами к горизонту, из той же точки с начальной скоростью V_0 к высокой вертикальной стенке, то наибольшая высота, на которой происходит соударение мяча со стенкой, равна $H = 3,6$ м.

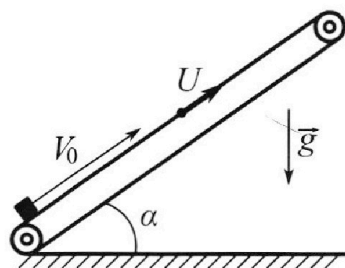
2) На каком расстоянии S от точки старта находится стенка?

Ускорение с вободного падения $g = 10$ м/с². Мяч движется в плоскости перпендикулярной стенке. Сопротивление воздуха считайте пренебрежимо малым.

2. Лента транспортера, предназначенного для подъема грузов, образует с горизонтальной плоскостью угол α такой, что $\sin \alpha = 0,6$ (см. рис.).

В первом опыте небольшую коробку ставят на покоящуюся ленту транспортера и сообщают коробке начальную скорость $V_0 = 6$ м/с. Коэффициент трения скольжения коробки по ленте $\mu = 0,5$.

Движение коробки прямолинейное.



1) Какой путь S пройдет коробка в первом опыте к моменту времени $T = 1$ с?

Во втором опыте коробку ставят на ленту транспортера, движущуюся со скоростью $U = 1$ м/с, и сообщают коробке скорость $V_0 = 6$ м/с (см. рис.).

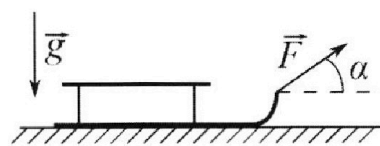
2) Через какое время T_1 после старта скорость коробки во втором опыте будет равна $U = 1$ м/с?

3) На каком расстоянии L от точки старта скорость коробки обратится в ноль во втором опыте? Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с². Все кинематические величины измерены в лабораторной системе отсчета.

3. Санки дважды разгоняют из состояния покоя до одной и той же кинетической энергии K на одинаковых участках пути.

В первом случае санки тянут, действуя постоянной по модулю силой, направленной под углом α к горизонту (см. рис.).

Во втором случае такая же по модулю сила, приложенная к санкам, направлена горизонтально. После достижения кинетической энергии K действие внешней силы прекращается.



1) Найдите коэффициент μ трения скольжения санок по горизонтальной поверхности.

2) Найдите перемещение S санок в процессе торможения до остановки. Ускорение свободного падения g . Санки находятся на горизонтальной поверхности. Движение санок прямолинейное.

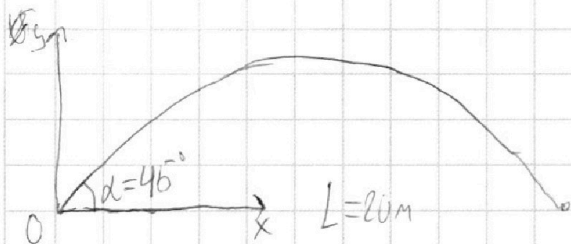
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐

МФТИ

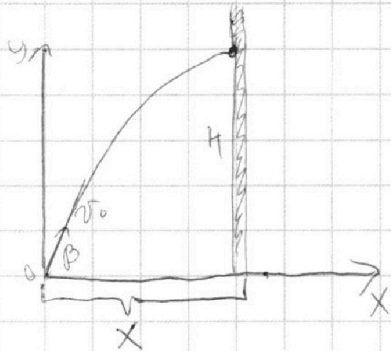
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



Время полета $t_n = \frac{2V_y}{g} = \frac{2V_0 \cdot \sin \alpha}{g} = \frac{\sqrt{2} V_0}{g}$

$$L = V_x \cdot t_n = V_0 \cdot \cos 45^\circ \cdot \frac{\sqrt{2} V_0}{g} = \frac{V_0^2}{g}$$

$$V_0 = \sqrt{gL} = \sqrt{10 \cdot 20} = 10\sqrt{2}$$



$$\begin{cases} H = V_y t - \frac{gt^2}{2} \\ X = V_x t \end{cases}$$

$$\begin{cases} H = V_0 \sin \beta t - \frac{gt^2}{2} \\ X = V_0 \cos \beta t \end{cases}$$

$$t = \frac{X}{V_0 \cos \beta}$$

$$H = V_0 \sin \beta \cdot \frac{X}{V_0 \cos \beta} - \frac{g}{2} \cdot \frac{X^2}{V_0^2 \cos^2 \beta}$$

$$H = \tan \beta \cdot X - \frac{g}{2} \cdot \frac{X^2}{V_0^2 \cos^2 \beta}$$

$$H' = \frac{1}{\cos^2 \beta} \cdot X - \frac{gX^2}{2V_0^2} = 0$$

СТР 8



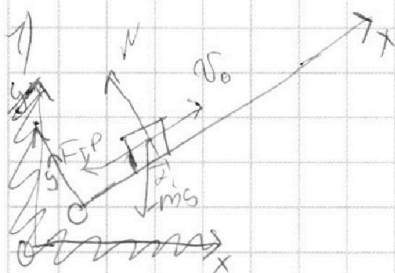
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



$$\text{ОУ: } N = mg \cdot \cos \alpha$$

$$\text{ОХ: } ma = F_{\text{тр}} + mg \cdot \sin \alpha$$

$$ma = (\mu mg \cdot \cos \alpha + mg \cdot \sin \alpha) \cdot \frac{1}{m}$$

$$a = \mu g \cdot \cos \alpha + g \cdot \sin \alpha = 0,5 \cdot 10 \cdot 0,8 + 10 \cdot 0,6 = 10 \text{ м/с}^2$$

~~8-90~~

~~8-90~~ $V_0 < aT$ значит скорость успеет изменить направление.

$$S = S_1 + S_2 = \left(V_0 T_1 - \frac{a T_1^2}{2} \right) + \frac{a T_2^2}{2} = \left(V_0 \frac{V_0}{a} - \frac{a \frac{V_0^2}{a^2}}{2} \right) + \frac{a \left(T_0 - \frac{V_0}{a} \right)^2}{2} =$$

$$= \left(\frac{6^2}{10} - \frac{6^2}{2 \cdot 10} \right) + \frac{10 \left(1 - \frac{6}{10} \right)^2}{2} = \frac{36}{20} + \frac{10 \cdot 0,4^2}{2} = 1,8 + 0,8 = \boxed{2,6 \text{ м}}$$

Ответ: $S = 2,6 \text{ м}$

2) Перейдем в систему отсчета земли. Зна С0 движется инерциальной. Второй пушк вводится к тому что $V_1 = 5 \text{ м/с}$ а скорость не меняется. А время для время до полной остановки.

Плюс же так же показав направление конечной скорости, когда подходит скорость 2 м/с в новой С0 по направлению „вниз“

СТР 3

На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐

 МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



Время T_{11} - время до останова

T_{12} - время до пуска

~~$T_{11} = \frac{V_1}{a} = \frac{2}{10} = 0,2$~~

~~$T_{12} = \frac{V_1}{a} = \frac{2}{10} = 0,2$~~

$$T_{11} = \frac{V_1}{a} = 0,5 \text{ c}$$

~~$T_{12} = \frac{V_1}{a} = \frac{2}{10} = 0,2$~~



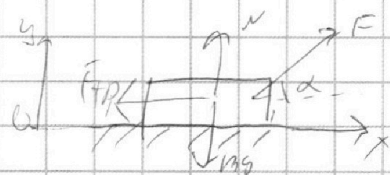
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



$$\text{ОУ: } N = mg - F \cdot \sin \alpha$$

$$F_{\text{тр}} = \mu mg - \mu F \cdot \sin \alpha$$

$$a_1 m = F \cdot \cos \alpha - F_{\text{тр}}$$

$$a_1 m = F \cdot \cos \alpha - \mu mg + \mu F \cdot \sin \alpha$$

$$a_2 m = F \cdot 1 - \mu mg + \mu F \cdot 0$$

$$a_2 m = F - \mu mg$$

$$K_1 = K_2$$

$$m \frac{v_1^2}{2} = m \frac{v_2^2}{2}$$

$$v_1 = v_2$$

$$a_1 t = a_2 t$$

$$a_1 = a_2$$

$$a_1 m = a_2 m$$

$$F \cdot \cos \alpha - \mu mg + \mu F \cdot \sin \alpha = F - \mu mg$$

$$F(\cos \alpha + \mu F \sin \alpha + mg -$$

$$F \cdot \cos \alpha + \mu F \cdot \sin \alpha = F$$

$$\boxed{\text{Ответ: } \mu = \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha}}$$

$$2) S \cdot F_{\text{тр}} = K$$

$$S \cdot \mu mg = K$$

$$\boxed{\text{Ответ: } S = \frac{K}{\mu mg}}$$

СТР 5

На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

$$Q = A' + \Delta U$$

$$A = \Delta U - Q \quad A = \frac{3}{2} \nu R \Delta T - C \nu \Delta T = \nu \Delta T \left(\frac{3}{2} R - C \right)$$

$$A_{12} = \frac{3}{2} \cdot 1 \cdot R \cdot (8T_1 - T_1) - 1,5R \cdot 1 \cdot (8T_1 - T_1) = 0 \quad \text{— значит 1-2 изохора}$$

$$A_{23} = \nu (4T_1 - 8T_1) \left(\frac{3}{2} R - \frac{1}{2} R \right) = -4 \nu T_1 R = -4 \nu R T_1$$

$$A_{31} = \nu (T_1 - 4T_1) \left(\frac{3}{2} R - 2R \right) = 3T_1 \nu \cdot \frac{1}{2} R = \frac{3}{2} \nu R T_1 =$$

$$= 1,5 \cdot 8,31 \cdot 200 = \boxed{2493 \text{ Дж}} \quad \text{ответ}$$

2) $Q > 0$ когда $\Delta T > 0$ т.к. $C > 0$. в циклических процессах

теплота поглощается только в процессе 1-2

$$Q_{12} = 9T_1 \cdot \nu \cdot 1,5R = 10,5 \nu R T_1$$

$$\eta = \frac{\sum A_i}{Q_{12}} = \frac{-(A_{12} + A_{23} + A_{31})}{Q_{12}} = \frac{-(0 + (-4) + \frac{3}{2}) (\nu R T_1)}{Q_{12}} =$$

$$= \frac{2,5 \nu R T_1}{10,5 \nu R T_1} = \frac{2,5}{10,5} = \frac{5}{21}$$

Ответ: $\boxed{\eta = \frac{5}{21}}$

Запишем МКТ для состояний 1 и 2

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{8T_1} \quad V_1 = V_2$$

$$P_2 = 8P_1$$

СТР 1



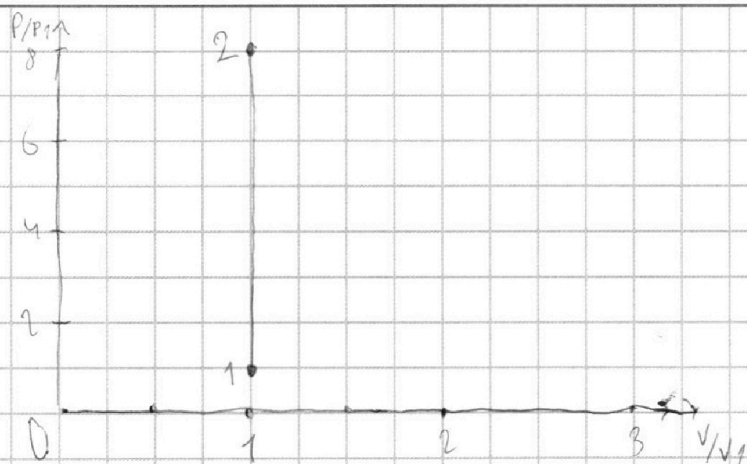
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



СТР 2

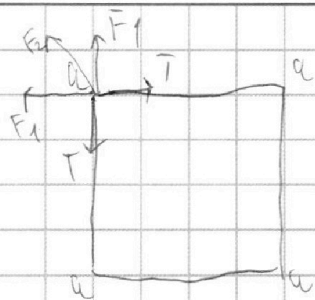
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



Спроецируем силы на ось вдоль
силы F_2

$$F_2 + 2F_1 \cdot \cos 45^\circ = 2T \cdot \cos 45^\circ$$

$$F_2 + \sqrt{2} F_1 = \sqrt{2} T$$

$$k \cdot \frac{q^2}{(\sqrt{2}a)^2} + k \cdot \frac{q^2}{a^2} = \sqrt{2} T$$

$$q^2 \left(\frac{k}{2a^2} + \frac{2\sqrt{2}k}{2a^2} \right) = \sqrt{2} T$$

$$q^2 = \frac{\sqrt{2} T}{\frac{k}{a^2} (1 + \sqrt{2})} = \frac{T \cdot a^2}{k} \cdot \frac{\sqrt{2}}{1 + \sqrt{2}}$$

$$q = \sqrt{\frac{T a^2}{k} \cdot \frac{2\sqrt{2}}{1 + \sqrt{2}}}$$

2) Если будем считать k шарика на некоторый
расстояние силы

Найдем разницу энергий взаимодействия

$$W_1 = 2 \cdot k \cdot \frac{q^2}{a} + k \cdot \frac{q^2}{\sqrt{2}a} = kq^2 \left(\frac{2}{a} + \frac{\sqrt{2}}{a} \right) = kq^2 \cdot \frac{4 + \sqrt{2}}{2a}$$

$$W_2 = kq^2 \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{2a} + \frac{1}{3a} \right) = kq^2 \cdot \frac{11}{12a}$$

$$W_1 = W_2 + K \quad K = W_1 - W_2$$

$$K = kq^2 \cdot \frac{1}{a} \left(\frac{4 + \sqrt{2}}{2} - \frac{11}{12} \right) = \frac{kq^2}{a} \cdot \frac{13 - 6\sqrt{2}}{12}$$

СТР 6

На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

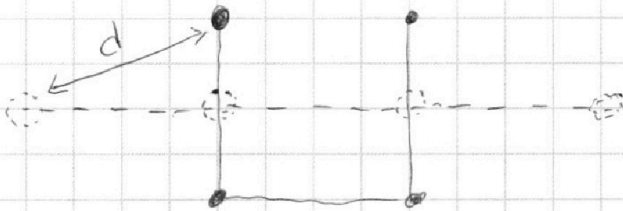
1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



Во время процесса на заряды не действуют внешние
силы, значит положение центра масс не
менялось. Само положение ~~я~~ легко находится
в обеих ситуациях из соображений симметрии.



$$d^2 = a^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2 = \frac{5}{4} a^2$$

$$d = \frac{\sqrt{5}}{2} a \quad \text{ответ:}$$



На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,

решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

ЧЕРКОВИКА

$$\Delta U = \frac{3}{2} \nu R \Delta T$$

~~A'~~

$$Q = A' + \Delta U$$

$$2R \cdot \nu \cdot 5T_1 = A' + \frac{3}{2} \nu R 3T_1$$

$$\frac{3}{2} \nu R T_1 = A'$$

$$1-2 \quad A' = 0 \text{ изохора}$$

$$C = \frac{dQ}{dT}$$

$$dQ = p dV + \frac{3}{2} p dV + \frac{3}{2} dp V$$

$$dQ = \frac{5}{2} p dV + \frac{3}{2} dp V$$

$$dQ = dA' + dU$$

$$dQ = p dV + \frac{3}{2} \nu R dT$$

$$\frac{dQ}{dT} = C$$

$$C dT = p dV + \frac{3}{2} \nu R dT$$

$$dT \left(C - \frac{3}{2} \nu R \right) = p dV$$

$$\frac{dT}{dV} = \frac{p}{C - \frac{3}{2} \nu R} = \frac{\frac{\nu R T}{V}}{C - \frac{3}{2} \nu R}$$

$$\frac{dT}{T} = \frac{dV}{V} \cdot \frac{\nu R}{C - \frac{3}{2} \nu R}$$

$$\ln T = \ln V \cdot \left(\frac{\nu R}{C - \frac{3}{2} \nu R} \right) + C$$

$$T = V \cdot e^{\dots}$$

$$\frac{pV}{T} = \text{const}$$

$$\frac{p}{e^{\dots}} = \text{const}$$



На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐



Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

Черновик

$$\frac{1}{\cos^2} = 1 + \tan^2$$

$$\left(\frac{f(x)}{g(x)}\right)' = \frac{f'(x) \cdot g(x) - f(x) \cdot g'(x)}{g(x)^2}$$

$$\frac{1}{\cos} = \sin$$

$$(f(x) \cdot g(x))' = f'(x) \cdot g(x) + f(x) \cdot g'(x)$$

$$\left(\sin \cdot \frac{1}{\cos}\right)' = \cos \cdot \frac{1}{\cos} + \sin \cdot \left(\frac{1}{\cos}\right)' = 1 + \tan^2$$

$$\left(\frac{1}{\cos}\right)' = \frac{\sin}{\cos^2}$$



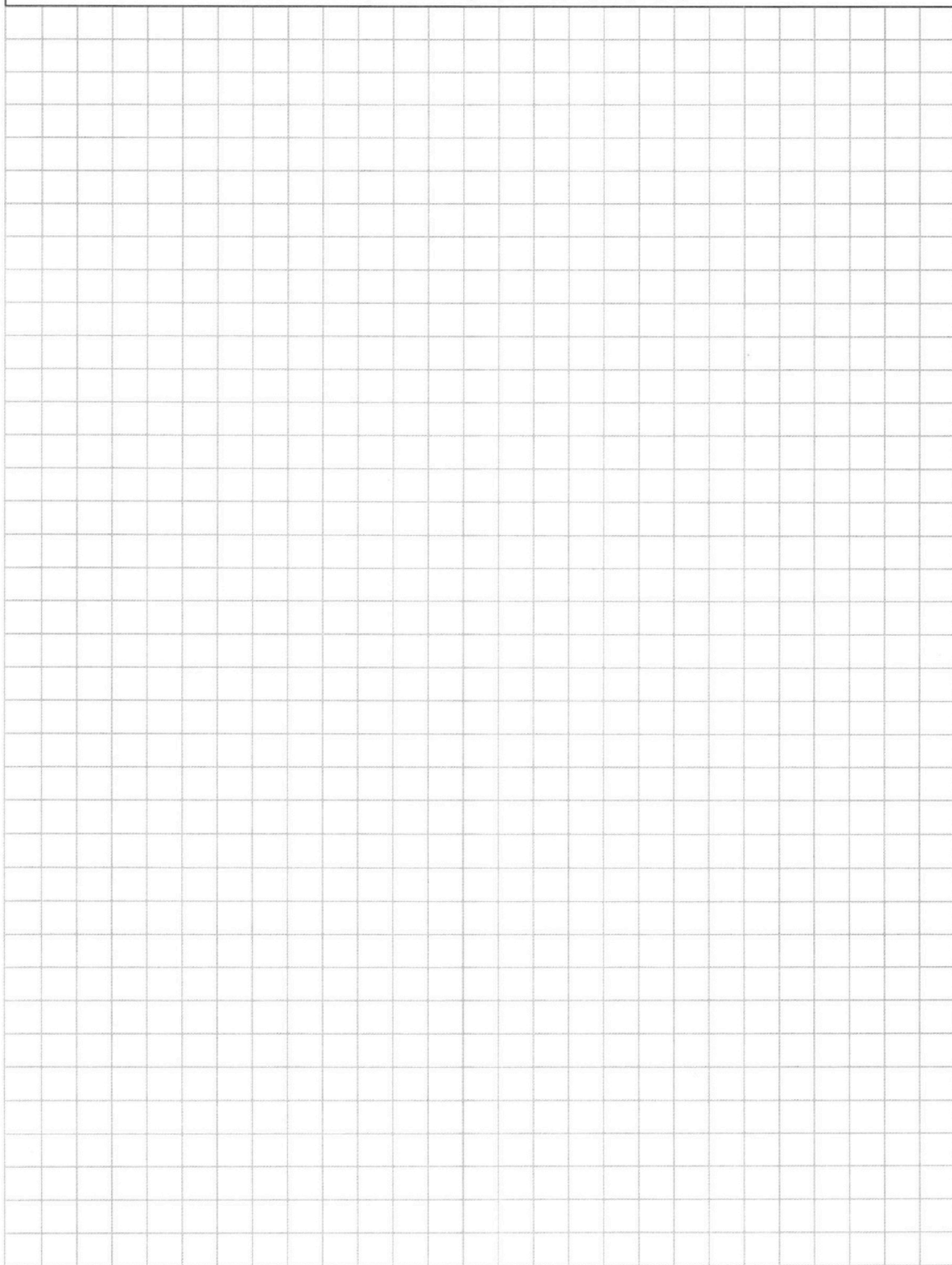
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐



Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!





На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

 МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

